

ОТЗЫВ официального оппонента Чернеги Николая Владимировича
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Новикова Владимира
Борисовича

на тему: «Линейные и нелинейные оптические эффекты в фотонных
кристаллах при брэгговской дифракции в геометрии Лауэ»
по специальности 01.04.21 – «лазерная физика»

Диссертационная работа В.Б. Новикова посвящена изучению взаимодействию света с одномерными фотонными кристаллами в геометрии Лауэ. В работе исследуются как линейные оптические явления, так называемый маятниковый эффект и эффект Бормана, так и нелинейный эффект генерации второй оптической гармоники. Тематика диссертационной работы представляется актуальной по следующим причинам. Во-первых, ранее проводилось сравнительно мало оптических исследований дифракции света в схеме Лауэ в фотонных кристаллах, в то же время при дифракции рентгеновского излучения в кристаллах эта схема весьма распространена и в ней наблюдался целый ряд фундаментальных явлений динамической дифракции. Во-вторых, для структур оптического диапазона характерно сильное различие показателей преломления структурных элементов. Поэтому известные в рентгеновском диапазоне эффекты должны приобретать новые, характерные только для видимого диапазона, особенности. В-третьих, в подавляющем большинстве работ по экспериментальному исследованию фотонных кристаллов изучаются структуры небольших линейных размеров, что сильно ограничивает познание динамики сверхкоротких лазерных импульсов.

Диссертация В.Б. Новикова изложена на 175 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержащего 181 наименование; включает 75 рисунков, 6 таблиц.

В первой главе диссертации приводится обзор литературы по тематике диссертационной работы. Освещены основные явления, возникающие при дифракции электромагнитного излучения в пространственно - периодических структурах; изложены основы электрохимического травления кремния, используемого для создания фотонных кристаллов, и подходы к описанию свойств пористых сред; приведены методы выполнения условий фазового синхронизма и квазисинхронизма для генерации второй гармоники в фотонных кристаллах. Также в обзоре литературы имеется исчерпывающее описание методов расчета спектров отражения и пропускания фотонных кристаллов в геометриях Брэгга и Лауэ; описаны три техники расчета генерации второй оптической гармоники в фотонных кристаллах при дифракции света в геометрии Лауэ.

Вторая глава содержит результаты исследования так называемого маятникового эффекта в фотонных кристаллах, возникающего в геометрии Лауэ в условия брэгговской дифракции, когда в фотонном кристалле существует две «сильных» волны разных порядков дифракции, между которыми происходит обмен энергией.

Третья глава диссертации посвящена исследованию оптического аналога эффекта Бормана, ранее наблюдавшегося в рентгеновском диапазоне. Рассмотрены особенности данного эффекта в фотонных кристаллах с разной толщиной слоев.

В четвертой главе приведены результаты исследования генерации второй оптической гармоники в фотонных кристаллах из пористого кварца, содержащего внедренное внутрь пор сегнетоэлектрическое вещество, служащее источником нелинейного сигнала.

Следует подчеркнуть наиболее интересные результаты диссертационной работы В.Б. Новикова. Они состоят в следующем. Экспериментально обнаружен оптический маятниковый эффект в одномерных фотонных кристаллах из пористого кремния при брэгговской дифракции света в геометрии Лауэ. Эффект проявлялся наличием

высокочастотных осцилляций с периодом 5-11 нм в спектральной зависимости мощности излучения двух дифракционных максимумов. Новизна результата связана с тем, что предыдущие исследования этого явления в фотонных кристаллах ограничивались лишь численным моделированием оптического маятникового эффекта. Интересно, что при помощи маятникового эффекта можно перенаправлять излучение, путем очень малой (10^{-4} - 10^{-3}) вариации показателей преломления фотонного кристалла.

Экспериментально обнаружен оптический эффект Бормана в одномерных фотонных кристаллах. Хотя эффект Бормана хорошо изучен в рентгеновском диапазоне и прежде наблюдался в оптике при изучении голографических решеток, результаты, изложенные в диссертации, являются весьма новыми и интересными. Показано, что в одномерных фотонных кристаллах при брэгговских углах падения излучения на фотонный кристалл в геометрии Лауэ, пропускание света структурой имеет максимум. Однако, как показано в диссертации, коэффициент пропускания фотонного кристалла может быть значительным и при нормальном падении света, что кардинально отличается от известного в рентгеновском диапазоне эффекта Бормана. Кроме того, установлено, что наличие максимума в пропускании света фотонным кристаллом свойственно не для всех углов Брэгга: имеет место чередование максимумов пропускания света структурой при изменении длины волны излучения. Кроме того, представляют интерес результаты исследования влияния вырождения фотонных запрещенных зон на эффект Бормана, что прежде также не изучалось.

Оригинален подход к выполнению фазового синхронизма для генерации второй оптической гармоники путем варьирования толщин слоев фотонного кристалла при фиксированном периоде структуры. В результате, за счет модификации решеточной дисперсии фотонного кристалла, удастся компенсировать материальную дисперсию вещества, из которого изготовлена структура. При брэгговской дифракции излучения решеточная дисперсия

света особенно сильна, поэтому условия фазового синхронизма удовлетворяются при падении излучения на структуру под углом Брэгга, но не при нормальном падении света. Весьма интересно, как автор объясняет появление центрального максимума в индикатрисах второй гармоники. Обосновывается, что это связано с двумя факторами: а) шириной пространственного спектра сфокусированного на структуру пучка накачки и б) вырождением фотонной запрещенной зоны на частоте второй гармоники.

Новизна работы также заключается в изучении связи генерации второй гармоники и недавно открытого явления временного деления лазерных импульсов, возникающего при брэгговской дифракции сверхкоротких импульсов света в геометрии Лауэ.

Необходимо подчеркнуть, что в работе проведена тщательная характеристика образцов с использованием различных методик. Особенно хочется отметить, что хотя работа является экспериментальной, приводимые в ней результаты сопровождаются исчерпывающими и убедительными теоретическими обоснованиями, а применяемые методы расчета подробно описаны в первой главе диссертации. Нельзя не отметить, что автором проводились весьма объемные расчеты с использованием ресурсов суперкомпьютера, был реализован код программы, выполняющий функционал нелинейного метода конечных разностей во временной области, а также тщательно проанализированы и минимизированы возможные неточности метода, связанные с численной дисперсией.

Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации. В нем обоснована научная новизна и практическая значимость работы, а также указаны полученные результаты.

Для более полного освещения диссертационной работы считаю необходимым указать на возникшие при чтении замечания:

1. В главах 3 и 4 особое внимание уделено вырождению фотонной запрещенной зоны структуры, которое приводит к ряду

специфических особенностей в спектральной зависимости оптического эффекта Бормана, а также появлению дополнительного максимума в индикатрисе второй гармоники. В то же время, в главе 2 при изучении маятникового эффекта не рассматривается ситуация вырождения фотонной запрещенной зоны. Как, по мнению автора диссертационной работы, вырождение фотонной запрещенной зоны будет влиять на маятниковый эффект и возможно ли пронаблюдать эту ситуацию экспериментально?

2. В главе 3 диссертации при рассмотрении эффекта Бормана исследуется вопрос о различии коэффициента пропускания фотонных кристаллов, имеющих потери для света либо только в легких, либо только в тяжелых слоях фотонного кристалла. Хотелось бы узнать, в чем заключается причина использования рассеяния света в качестве механизма потерь вместо поглощения?
3. В главе 4 рассматривается синхронная генерация второй оптической гармоники. В то же время, из текста диссертации неясно, возможно ли убедиться в том, что условия фазового синхронизма для генерации ВГ выполняются, при помощи линейных измерений?
4. В главе 4 на рисунке 4.24(а) приведены зависимости энергии импульса второй гармоники от длительности лазерного импульса накачки, падающего на фотонный кристалл, рассчитанные методом медленно меняющихся амплитуд и методом конечных разностей во временной области. В пределе длинных импульсов оба подхода должны давать одинаковые результаты, однако второй численный метод дает завышенное значение энергии импульса накачки по сравнению с первым методом. В чем заключается причина этого различия?

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям,

установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.21 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель В.Б. Новиков заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории когерентной оптики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,

Чернега Николай Владимирович



12.02.2018

Контактные данные:

тел.: 7(499)1326551, e-mail: tchera@sci.lebedev.ru

Специальность, по которой

защищена диссертация:

01.04.05 – Оптика

Адрес места работы:

119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН

Тел.: 8(499)135-42-64; e-mail: postmaster@lebedev.ru

Подпись сотрудника ФИАН Н.В. Чернеги
удостоверяю

Ученый секретарь Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева
Российской академии наук кандидат физико-математических наук

12.02.2018



Колобов А.В.